

【添付書類】

15 267

刊行物 2

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2001-513269

(P2001-513269A)

(43) 公表日 平成13年8月28日 (2001.8.28)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

FI

テ-マ-ド (参考)

H01L 41/083

F02M 51/06

N

F02M 51/06

H01L 41/08

Q

審査請求 未請求 予備審査請求 有

(全16頁)

(21) 出願番号 特願平11-534369
 (86) (22) 出願日 平成10年10月30日 (1998. 10. 30)
 (85) 翻訳文提出日 平成11年8月23日 (1999. 8. 23)
 (86) 国際出願番号 PCT/DE98/03174
 (87) 国際公開番号 WO99/34455
 (87) 国際公開日 平成11年7月8日 (1999. 7. 8)
 (31) 優先権主張番号 19757877. 2
 (32) 優先日 平成9年12月24日 (1997. 12. 24)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)
 (81) 指定国 EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), CZ, JP, KR, US

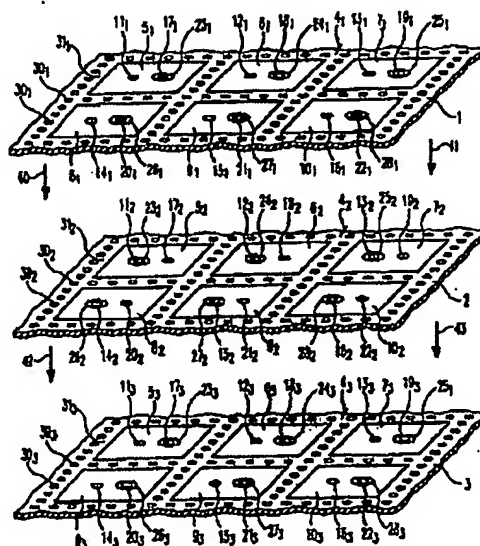
(71) 出願人 ローベルト ボツシュ ゲゼルシャフト
 ミット ベシユレンクテル ハフツング
 ドイツ連邦共和国 D-70442 シュツツ
 トガルト ポストファッハ 300220
 (72) 発明者 ディーター ザイブラー
 ドイツ連邦共和国 D-72766 ロイトリ
 ングエン ハウルーヒンデミートーシュトラ
 ーセ 1
 (72) 発明者 ヴァルター レートリングスハーファー
 ドイツ連邦共和国 D-72766 ロイトリ
 ングエン ケーニッヒシュトレースレ 129
 (72) 発明者 西垣 進
 愛知県名古屋市長区篠の風1丁目1607
 (74) 代理人 弁理士 矢野 敏雄 (外3名)

(54) 【発明の名称】 圧電式アクチュエータの製造方法および圧電式アクチュエータ

(57) 【要約】

本発明は、複数の圧電アクチュエータを並行に製造するための方法並びに相応の圧電アクチュエータに関する。本発明によれば、圧電セラミック材料から成る複数の薄いフィルム (1~3) が上下にスタックされる。フィルム (1~3) の表面 (4) に、それぞれのアクチュエータに対して電極 (5~10) が設けられている。電極 (5~10) のコンタクト形成のために、第1の接続孔 (11~16) および第2の接続孔 (17~22) が設けられている。電極 (5~10) は空所 (23~28) を有しており、これら空所は第1の接続孔 (11~16) または第2の接続孔 (17~22) を取り囲んでいる。接続孔 (11~22) には導電性のペースト (58) が供給される。スタックされた構成体は焼成されかつ個々のアクチュエータに分割される。電極は内部電極として周囲とはアイソレーションされている。

Fig. 1



(2)

特表2001-513269

【特許請求の範囲】

1. 複数の圧電アクチュエータを並列に製造するための方法において、
未焼の、圧電セラミック材料から成る薄いフィルム（1～3）を製造し、
前記フィルム（1～3）を貫通する第1のおよび第2の接続孔（11～16, 17～22）を形成し、その際それぞれのアクチュエータにそれぞれ1つの第1の接続孔（11～16）および第2の接続孔（17～22）が配属されており、
前記フィルム（1～3）の表面にそれぞれ複数の電極（5～10）を成膜し、その際それぞれのフィルム（1～3）における各アクチュエータに少なくとも1つの電極（5～10）が配属されており、

ここで、前記接続孔（11～16, 17～22）は前記フィルム（1～3）を前記電極（5～10）の領域において貫通しておりかつ該電極（5～10）はそれぞれ、第1の接続孔（11～16）または第2の接続孔（17～22）を取り囲んでいる空所（23～28）を有しており、

前記フィルム（1～3）を多数個上下にスタックして、前記第1および第2の接続孔（11～16, 17～22）がこのようにして生じるスタックされた構成体において上下に配置されているようにし、

ここで、前記フィルム（1～3）の層列は次のように選択されている、即ち前記上下に配置された接続孔（11～16, 17～22）が交差的に1つおきのフィルム層（1, 3）においてだけ前記電極（5～10）の空所（23～28）によって取り囲まれており、その結果前記電極（5～10）が交差的に前記第1の接続孔（11～16）または前記第2の接続孔（17～22）に接続されるようにであり、

前記接続孔（11～16, 17～22）に導電性のペースト（53）を供給し、
前記スタックされた構成体を焼成し、かつ

前記スタックされた構成体を個別アクチュエータに分離する方法。

2. 前記フィルム（1～3）の上面において個々のアクチュエータの縁領域において、前記電極（5～10）が占めていない中間領域（31）が設けられてい

(3)

特表2001-513269

る

請求項1記載の方法。

3. 前記中間領域(31)に、パーフォレーション孔(30)が形成される
請求項1または2記載の方法。

4. 前記パーフォレーション孔(30)は、前記中間領域(31)において個々のアクチュエータの縁に沿った列に配置されている

請求項3記載の方法。

5. 前記スタックされた構成体を個々のアクチュエータに分離するために、隣接するアクチュエータの電極(5~10)の間に反対の極性の電界を印加する請求項3または4記載の方法。

6. 前記スタックされた構成体の、個々のアクチュエータへの分離を、鋸引きまたはウォータジェット式切断を用いて行う
請求項1から5までのいずれか1項記載の方法。

7. 前記スタックされた構成体を焼成の前に圧力下で高められた温度で乾燥する

請求項1から6までのいずれか1項記載の方法。

8. 前記電極(5~10)をシルクスクリーン法、蒸着、スパッタリングまたは類似のものによって被着する

請求項1から7までのいずれか1項記載の方法。

9. 前記スタックされた構成体を焼成の際に最大圧力下で少なくとも1000℃の温度で焼結する

請求項1から8までのいずれか1項記載の方法。

10. 圧電セラミック材料から成る、上下に配置された多数の層(50)を有している圧電式アクチュエータであって、前記層はそれぞれ表面(4)に少なくとも1つの電極(5)によって成膜されており、その際該電極(5)は交差的に相互に接続されている形式のものにおいて、

それぞれの層(50)において、該層(50)を前記電極(5)の領域において

(4)

特表2001-513269

貫通する第1および第2の接続孔(11, 17)が設けられており、
それぞれの電極(5)は、前記第1の接続孔(11)または第2の接続孔(17)
を取り囲んでいる空所(23)を有しており、
前記層(50)は、該層の全部(50)の第1および第2の接続孔(11, 17)
が上下に配置されているようにスタックされておりかつ該上下に配置された接
続孔(11, 17)が交差的にそれぞれ1つおきの層においてのみ前記電極(5)
の空所(23)によって取り囲まれていて、該電極(5)が前記第1の接続孔
(11)および第2の接続孔(17)に交差的に接続されており、かつ
前記接続孔(11, 17)は導電性のペースト(53)によって充填されている
ことを特徴とする圧電アクチュエータ。

11. 前記電極(50)は網目状の金属層から成っている
請求項10記載の圧電アクチュエータ。

12. 前記層(50)は環状の縁領域(31)を有しており、該縁領域には電極
(5)が成膜されていない請求項10または11記載の圧電アクチュエータ。

13. アクチュエータの最も上の層および/または最もしたの層および/または
縁領域の外側の表面は電気

的に絶縁性の鋳込み成形体に埋め込まれている

請求項10から12までのいずれか1記載の圧電アクチュエータ。

(5)

特表2001-513269

【発明の詳細な説明】

圧電式アクチュエータの製造方法

および圧電式アクチュエータ

従来の技術

本発明は、例えば、燃料噴射弁の操作のために使用可能である圧電式アクチュエータ、並びにその製造方法に関する。

例えば、燃料噴射弁の操作のための圧電式アクチュエータは多種多様な構造において例えばドイツ連邦共和国特許出願公開第19500706号公報またはドイツ連邦共和国特許第4306073号明細書から公知である。圧電式アクチュエータは、上下にスタックされた多数の圧電層から成っている。これら層はそれぞれ一方の表面が電極によって成膜されている。通例の圧電式アクチュエータは、数百の、この形式の上下に積層化された圧電層から成っている。このようにして、比較的大きな操作ストロークが実現される。例えばドイツ連邦共和国特許出願公開第3713697号公報に詳しく示されているように、個別の圧電層の電極は交替的に電圧源に接続されて、個々の層に、同じ方向に配向された電界が生成されるようにしなければならない。その際1つおきの電極が電圧源の第1の電極に接続されており、一方その間に存在する電極は電

圧源の第2の極に接続されている。例えば英国特許出願公開第2193386号公報に詳しく示されているように、これまでは普通、スタックされた圧電層の縁まで延在している電極を縁領域において外側で相互に接続するようにしている。しかしこのような形式のコンタクト形成は、大量の個数を有する完全自動の製造では煩雑でありかつ障害を起こし易くかつ更に、電極が縁領域まで延在しているので周囲に対してアイソレーションされておらず、その結果圧電式アクチュエータの周辺領域に付加的なアイソレーション部を設けなければならないという欠点を有している。

発明の利点

請求項1の特徴部分を有する本発明の方法は、この方法を全自動的な製造において使用することができかつこの方法により非常に僅かな製造コストですむこと

(6)

特表2001-513269

になるという利点を有している。アクチュエータの電極は外側ではなくて、内部で、接続孔に供給されている導電性のペーストによってコンタクト形成される。それ故に本発明によるコンタクト形成は障害を受けにくくしかも外部の機械的な損傷に対して敏感でない。圧電式アクチュエータは高集積化された工程において相互に並行に製造される。複数の圧電アクチュエータを含んでいるブロックは製造の終わりで漸く個別アクチュエータに分割される。これにより歩留まりは著し

く高められる。請求項10に記載の特徴を有する本発明のアクチュエータに対しても同じ利点が生じる。

従属請求項に記載の構成によって、請求項1に記載の製造方法もしくは請求項10に記載の圧電式アクチュエータの有利な形態および改良例が可能である。

アクチュエータの縁領域が電極によって占められていないとき、電極はアクチュエータの周囲とは確実にアイソレーションされているという利点を得られる。それ故に電極をアイソレーションするための別の手段は必要でない。更に接続孔を介する電極のコンタクト形成はアクチュエータの内部で行われるので、電圧を導く構成部分の、外部に対する完全なアイソレーションが生じる。

個々のアクチュエータ間の中間領域において、圧電層を形成するフィルムにパーフォレーション孔を形成することができる。これらパーフォレーション孔は一方において、スタックされたフィルムの引き続く焼成の際にガスを逃がす通路として用いられる。他方においてこれらパーフォレーション孔によって、スタックされた構成体の、個々のアクチュエータへの分割が容易になる。その際分割は例えば、隣接するアクチュエータの電極に極性が反対である電界を加えることによって行うことができる。一方の隣接するアクチュエータが収縮している期間に、他方の隣接しているアクチュエータは伸張している。これにより生じる機械的な

応力のために、パーフォレーション孔によって前以て決められる分離ラインに沿ったアクチュエータの分割が行われるようになる。しかしパーフォレーション孔はパーフォレーション孔によって前以て決められるパーフォレーションラインに沿って鋸引きによりアクチュエータを分離することも容易にする。別の適当な分

(7)

特表2001-513269

離方法は、ウォータージェット式切断法である。

金属性の電極は有利には、シルクスクリーン方法、蒸着またはスパッタリングによって被着することができ、その際材料を節約しかつその上にある圧電セラミック層との付着の伸介を改善するという理由から、電極を完全にではなくて、例えば網目状の構造を以て被着すると有利である。

図面

本発明の実施例は図面に略示されており、以下にそれを詳細に説明する。

その際：

第1図は、電極が成膜されておりかつ接続用孔およびパーフォレーション孔を備えている、圧電セラミック材料から成る3つの上下にスタックすべきフィルムの略図であり、

第2図は、完成したアクチュエータの断面を示す斜視図である。

実施例の説明

第1図には、本発明の製造方法を理解するための概略が斜視図にて示されている。まだ未焼成の圧電セラミック材料、即ち所謂グリーンセラミックから成る3つのフィルム1、2および3が図示されている。適当な材料は例えば、鉛-バリウム-チタン酸塩 (PbBaTiO_2) である。セラミック材料は、焼成の前に、例えば圧延、鋳造または切断によって薄いフィルムに処理される。フィルム厚のオーダーは、例えば0.1mmであるが、本発明の実施はこのフィルム厚に制限されるものではない。次の処理ステップ(工程)において、フィルムは上面4₁、4₂、4₃に導電性の材料、有利には薄い金属層が成膜される。このために、すべての公知の化学的および物理的な表面成膜方法、例えば蒸着、スパッタリングまたはシルクスクリーンが適している。電極5₁ないし10₁、5₂ないし10₂および5₃ないし10₃は全面に被着することができる。しかしシルクスクリーン法の場合、電極の網目形状の構造が有利である。図示の実施例において、それぞれのフィルム1、2ないし3の電極5₁ないし10₁、5₂ないし10₂および5₃ないし10₃にはそれぞれ1つのアクチュエータが配属されている。それ故に、複数の側方に相互にずれて配置されているアクチュエータは本発明の方法によつ

(8)

特表2001-513269

て同時に処理され、これにより製造コストを著しく低減することができる。基本的に、個々の用途に対してその方がよい

と認められるのであれば、それぞれのアクチュエータに1つの電極ではなくて、複数の電極を配属させることもできる。

各フィルム層1, 2ないし3において、成膜に続くまたは成膜に先行する工程において、第1のフィルム1において第1の接続孔11₁ないし16₁が、第2のフィルム2において第1の接続孔11₂ないし16₂が、第3のフィルム3において第1の接続孔11₃ないし16₃が並びに第1のフィルム1において第2の接続孔17₁ないし22₁が、第2のフィルム2において第2の接続孔17₂ないし22₂が、第3のフィルム3において第2の接続孔17₃ないし22₃が、例えばスタンピングまたは穿孔によって形成される。これら接続孔11ないし22は、個々の電極5ないし10の接続のために用いられる。これについては後で詳述する。電極間の交番的な接続を実現するために、第1のフィルム1では、第2の接続孔17₁ないし22₁は空所23₁ないし28₁によって取り囲まれており、即ち、電極膜はそれぞれ、第2の接続孔17₁ないし22₁の縁部にまで達しておらず、電極5₁ないし10₁の縁部は第2の接続孔17₁ないし22₁の縁部とは離間している。同様に、第3のフィルム3の電極5₃ないし10₃においても、第2の接続孔17₃ないし22₃を取り囲んでいる空所23₃ないし28₃が設けられている。これに対してこれらの間

に存在する第2のフィルム層では、電極5₂ないし10₂の空所23₂ないし28₂は第1の接続孔11₂ないし16₂を取り囲んでいる。第1のフィルム1の上方に配置され、これに隣接しているもはや図示されていない別のフィルムおよび同様に第3のフィルム3の下方に配置されておりかつこれに隣接しているもはや図示されていない別のフィルムに対しても同じことが当てはまる。従って空所23ないし28は、フィルム層毎に交番的に、第1の接続孔11ないし16または第2の接続孔17ないし22に配属されている。

更に、図示の実施例において、それぞれのフィルム層1, 2なし3にパーフォ

(9)

特表2001-513269

レイション孔30₁、30₂および30₃が設けられている。これらは例えば、第1の接続孔11ないし16および第2の接続孔17ないし22と同時にスタンピングまたは穿孔によって形成することができる。パーフォレイション孔30は図示の実施例では、網目状に構成されておりかつ本発明の方法により同時に製造される個々のアクチュエータ間の境界線をそれぞれマーキングしている。電極5₁ないし10₁もしくは5₂ないし10₂もしくは5₃ないし10₃の間に、それぞれのフィルムにおいて編み目形状の中間領域31₁もしくは31₂もしくは31₃が設けられているので、電極5ないし10はアクチュエータの外側の縁部まで達しず、パーフォレイション孔30によってマーキングされている縁部か

ら離間している。パーフォレイション孔30は有利には、中間領域31において列状に配置されている。この列は個々のアクチュエータの縁部に沿って延在している。図示の実施例において、アクチュエータは矩形の横断面を以て製造される。別の形状の横断面を有するアクチュエータの製造のために、パーフォレイション孔は相応に変化して配置されているべきである。

後続の工程において、図1にはそのうちフィルム1ないし3だけが示されているにすぎないが、多数のフィルムが上下にスタックされる。十分なアクチュエータストロークを実現するために、有利には図1に示されている、上述したように処理された数百のフィルムが上下に積層化される。その際個々のフィルム層は、パーフォレイション孔30も第1の接続孔11ないし16および第2の接続孔17ないし22も正確に上下に位置決めされているように相互に配向される。このことは例えば、機械的または光学的に走査可能な参照マーキングシステムによって全自動で行うことができる。個々のフィルム1ないし3のスタックないし積層化は図1では矢印40ないし43によって示されている。既に説明したように、フィルム1ないし3の層列は、上下に配置された接続孔11ないし16もしくは接続孔17ないし22が交互に、1つおきのフィルム層1もしくは3においてだけ電極5ないし10の空所23ないし29によって取り囲まれているように選択されるので、電極5ないし10は交互に第1の接続孔11ないし16または第2

(10)

特表2001-513269

の接続孔17ないし22に接続されている。

次の工程において、第1の接続孔11ないし16および第2の接続孔17ないし22が適当な、導電ペースト、例えば金属化ペーストによって充填される。接続孔11ないし16もしくは接続孔17ないし22の充填は、例えば負圧を用いた吸い込みによってまたは圧入によって行うことができる。導電ペーストの供給は有利には、フィルムの既にスタックされている状態において行われる。しかし、スタックの前に、個々のフィルムに導電ペーストを充填することも考えられる。接続孔11ないし16もしくは接続孔17ないし22は所謂ビアホールとも称することができるので、コンタクト形成方法はビア・フル・プロセスと呼ぶのが相応しい。

次の工程において、フィルム1ないし3のスタックによって生じた構成体が適当な圧力下で比較的高い温度で乾燥されかつ引き続いて適当な温度で焼成される。焼成温度は有利には、1000℃より大きくかつ有利には、1000℃と1500℃との間の領域にある。

引き続いて、焼成され、スタックされた構成体は、個別アクチュエータに分割される。例えばフィルムの大きさが15×20cmである場合、スタックされた

構成体から200個の個別アクチュエータが得られる。個別アクチュエータへの分離は例えば、鋸引きまたはウォータジェット式切断によって行われる。その際パーフォレーション孔30によって切断過程が容易になりかつ分離個所がマーキングされる。

有利な手法によれば、スタックされた構成体の、個別アクチュエータへの分離は、隣接するアクチュエータに異なった極性の電圧を印加することによって行われる。アクチュエータの個別層に形成される、隣接するアクチュエータ間では異なった方向に配向されている電界によって、電界の方向に応じて隣接するアクチュエータの収縮または伸張が生じる。それ故に、隣接するアクチュエータ間でストレスが生じる。このストレスによって、電界の強さおよび個別パーフォレーション孔30間の間隔を適当に選定することによって、パーフォレーション孔30によって前以て決められる切断ラインに沿ってアクチュエータが切断されること

(II)

特表2001-513269

になる。この手法は、特別な切断装置を必要としないので、コストの面で特別有利である。

本発明をより分かり易くするために、第2図には、個別アクチュエータが切断して示されている。圧電セラミック材料から成る、スタックされて上下に配置されている層50₁ないし50₁₅が分かる。更に個々の層50₁ないし50₁₅の電極5₁ないし5₁₅が分かる。第2図から更に、電極5₁ないし5₁₅の空

所23₁ないし23₁₅が交番的に、これらが第1の接続孔11および第2の接続孔17を交互に取り囲むように配置されていることが分かる。接続孔11および17に充填された導電ペースト53によって、それぞれ1つおきの層の電極5₁, 5₃, …5₁₅が、例えばはんだ付け、ボンディング、溶接または類似のものによってアクチュエータに接続されている第1の接続ワイヤ51に接続される。これらの間に位置している電極5₂, 5₄, …5₁₄は第2の接続孔17に導入されている導電ペースト53を介して第2の接続ワイヤ52に接続されている。従って、接続ワイヤ51と52との間に電圧を加える際にアクチュエータに形成される電界は、全体の圧電層50₁ないし10₁₅において同じ方向に配向されているので、それぞれ個々の圧電層15₁ないし15₁₅の収縮ないし伸張は圧電アクチュエータの全体のハブ構造に構造的に加算される。

第2図から更に、アクチュエータの縁部領域において除去されたパーフォレーション孔30が分かる。電極5₁ないし5₁₅がアクチュエータの縁領域に達しず、縁から間隔aだけ離間していることによって、電極5₂ないし5₁₅のハーメチックなアイソレーションが生じる。最も上の電極5₁に対してだけ、付加的なアイソレーション手段を設ける必要がある。有利には、アクチュエータは上面が適当な電氣的に絶縁性の

鋳込み樹脂によってカバーされる。この鋳込み樹脂は、スタックされた構成体を個別アクチュエータに切断する前に既に面状に被せることができる。更に、上面に締めくくりの層として、電氣的に絶縁性の被覆フィルムを被着することが考えられる。

(12)

特表2001-513269

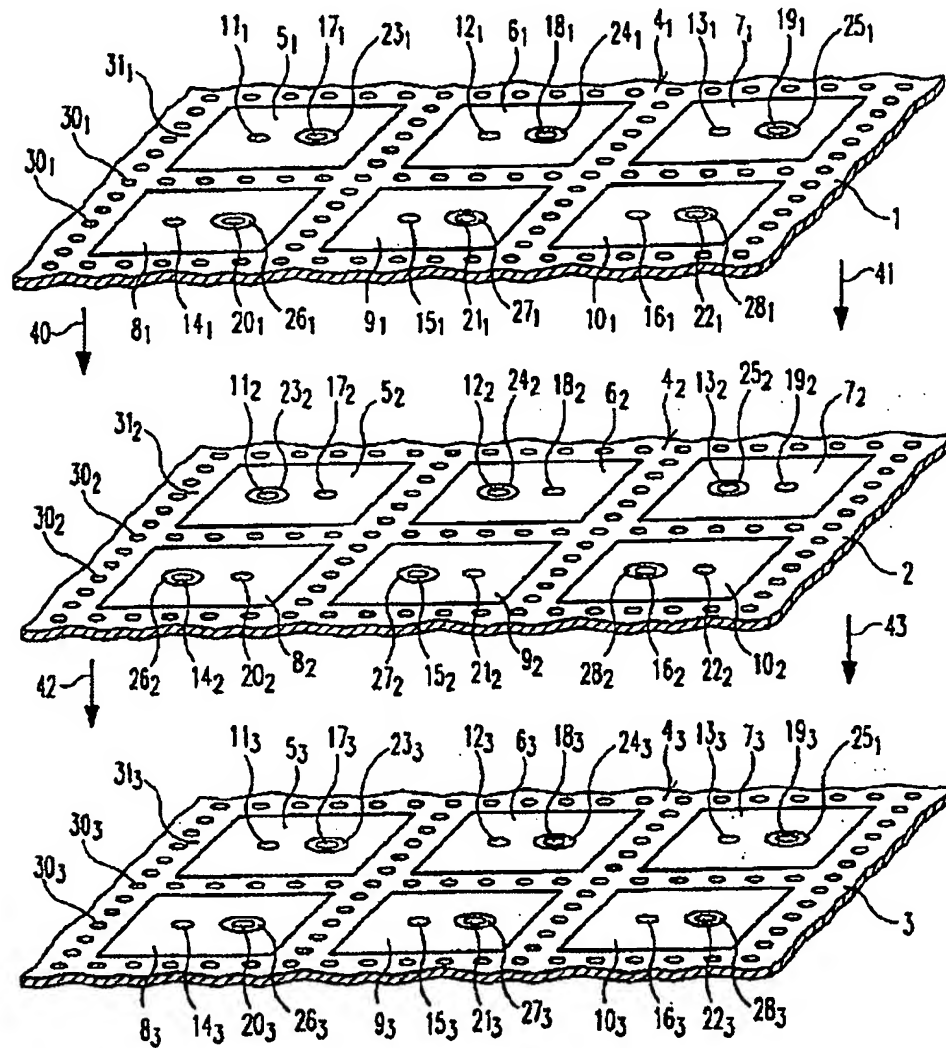
パーフォレーション孔30は、スタックされた構成体の、個別アクチュエータへの切離を容易にするばかりでなく、殊に、スタックされた構成体の乾燥および焼成の際にガスを逃がすのを支援する。本発明の方法によって、150Vより僅かな動作電圧ですみかつ50 μ mの操作ストロークにおいて100N以上の力を発生するピエゾアクチュエータが製造される。スタックされた構成体は、ウォータージェット式切断で、殆ど任意の横断面形状を有する個別アクチュエータに分割される。即ち、例えば円形、3角形または星形のアクチュエータが製造可能である。

(13)

特表2001-513269

【図1】

Fig. 1

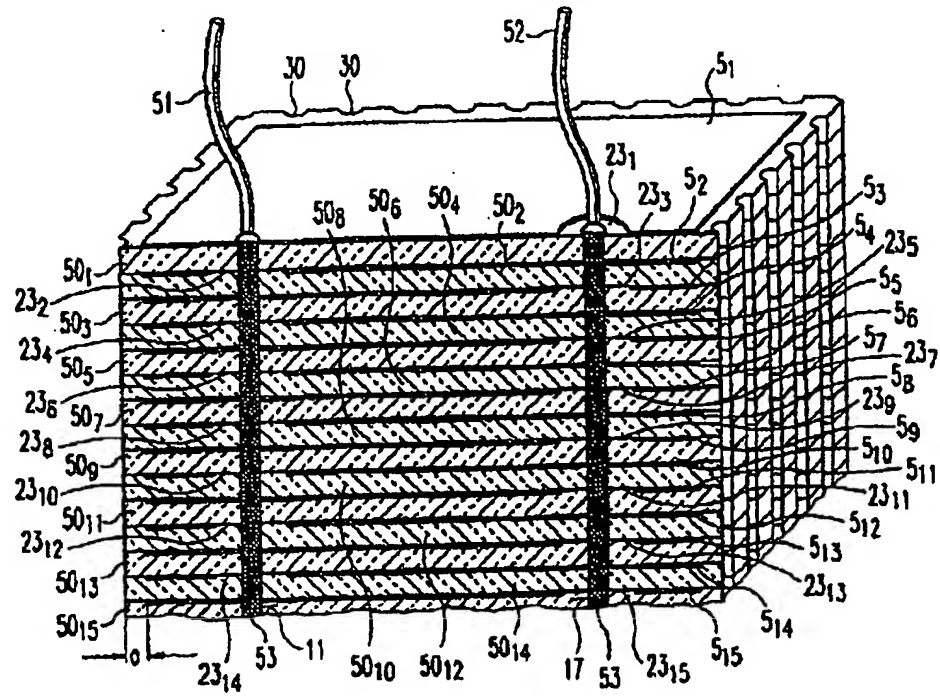


(14)

特表2001-513269

【図2】

Fig. 2



(15)

特表2001-513269

[国際調査報告]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/DE 98/03174

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H01L41/24		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that each document is included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevance to claim No.
X	US 4 523 121 A (TAKAHASHI SADAYUKI ET AL) 11 June 1985 see abstract; figures 14,15 see column 2, line 36 - column 3, line 4 see column 8, line 31 - column 9, line 52	10,11
Y	---	1,6-8
Y	WO 97 01868 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ;PHILIPS NORDEN AB (SE)) 16 January 1997 see abstract; figures 1,2 see claims 1,6	1,6-8
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 054 (E-583), 18 February 1988 - & JP 62 199075 A (FUJI ELECTROCHEM CO LTD), 2 September 1987 see abstract	1-4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of our C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other "Y" documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document number of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 23 February 1999		Date of mailing of the international search report 03/03/1999
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 1 NL - 2200 MB Rijswijk Tel. (+31-70) 540-5340, Te. St. 031 450 15, Fax: (+31-70) 540-3016		Authorized officer Visscher, E

Form PCT/ISA/210 (revised March 1997)

(16)

特表2001-513269

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Applications No.

PCT/DE 98/03174

Patent documents cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4523121	A	11-06-1985	
		JP 1472361 C	27-12-1988
		JP 58196068 A	15-11-1983
		JP 63017354 B	13-04-1988
		JP 1857861 C	27-07-1994
		JP 58196069 A	15-11-1983
		JP 63034636 B	11-07-1988
		JP 68196070 A	15-11-1983
		JP 68196071 A	15-11-1983
		JP 68196072 A	15-11-1983
		JP 58196073 A	15-11-1983
		JP 58196074 A	15-11-1983
		JP 1871855 C	06-09-1994
		JP 4051992 B	20-08-1992
		JP 58196075 A	15-11-1983
		JP 1944761 C	23-06-1995
		JP 6071102 B	07-09-1994
		JP 58196076 A	15-11-1983
		JP 1882024 C	10-11-1994
		JP 6005794 B	19-01-1994
		JP 58196077 A	15-11-1983
		JP 58196078 A	15-11-1983
		JP 1728730 C	29-01-1993
		JP 4009390 B	20-02-1992
		JP 58196079 A	15-11-1983
		AU 553391 B	10-07-1986
		AU 1442283 A	17-11-1983
		CA 1206193 A	17-06-1986
		DE 3378393 A	08-12-1988
		EP 0094078 A	16-11-1983
		BR 8302536 A	17-01-1984
WO 9701868	A	16-01-1997	
		EP 0777913 A	11-06-1997
		JP 10505463 T	26-05-1998
		US 5758398 A	02-06-1998

From PCT/SA719 (dated 10 July 1993) (July 1993)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H01L 41/24	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/34455 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 8. Juli 1999 (08.07.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/03174 (22) Internationales Anmeldedatum: 30. Oktober 1998 (30.10.98) (30) Prioritätsdaten: 197 57 877.2 24. Dezember 1997 (24.12.97) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D-70442 Stuttgart (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SEIPLER, Dieter [DE/DE]; Paul-Hindemith-Strasse 1, D-72766 Reutlingen (DE). RÖTHLINGSHÖFER, Walter [DE/DE]; Königsträsslle 129, D-72766 Reutlingen (DE). NISHIGAKI, Susumu [JP/JP]; 1607, 1-chome, Shinonokaze, Midoriku, Nagoya (JP).		(81) Bestimmungsstaaten: CZ, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF PIEZOELECTRIC ACTUATORS AND A PIEZOELECTRIC ACTUATOR

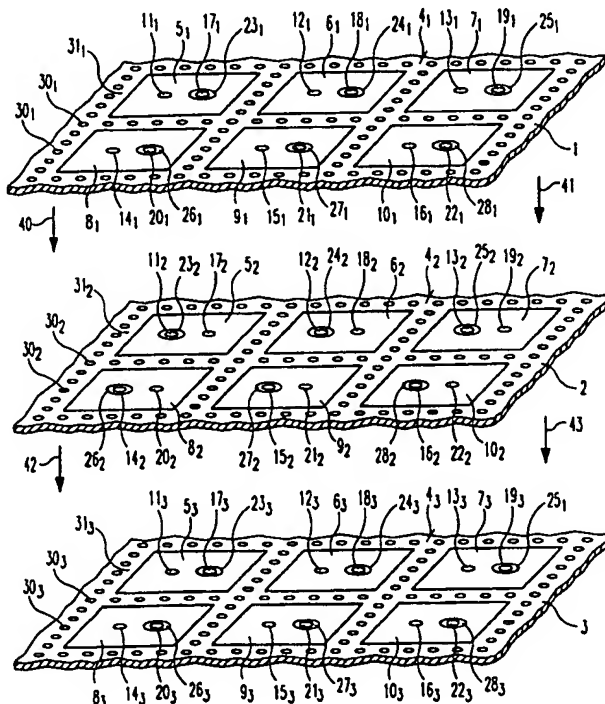
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG PIEZOELEKTRISCHER AKTOREN UND PIEZOELEKTRISCHER AKTOR

(57) Abstract

The invention relates to a method for parallel production of several piezoelectric actuators and to a corresponding piezoelectric actuator. According to the invention, several thin sheets (1-3) made of unburned piezoelectric ceramic working material are stacked on top of each other. An electrode (5-10) is provided on the surface (4) of the sheets (1-3) for each actuator. First (11-16) and second (17-22) connection holes are provided for contacting the electrodes. The electrodes have recesses (23-28) which surround the first (11-16) or the second (17-22) connection holes. An electroconductive paste (53) is applied in the connection holes (11-22). The stacked array is burned and divided into individual actuators. The electrodes working as internal electrodes are isolated from the environment.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur parallelen Herstellung mehrerer piezoelektrischer Aktoren sowie einen entsprechenden piezoelektrischen Aktor. Erfindungsgemäss werden mehrere dünne Folien (1-3) aus einem ungebrannten, piezoelektrischen Keramikwerkstoff aufeinander gestapelt. Auf der Oberfläche (4) der Folien (1-3) ist für jeden Aktor eine Elektrode (5-10) vorgesehen. Zur Kontaktierung der Elektroden (5-10) sind erste (11-16) und zweite (17-22) Verbindungsöffnungen vorgesehen. Die Elektroden (5-10) weisen Aussparungen (23-28) auf, die entweder die ersten (11-16) oder die zweiten (17-22) Verbindungsöffnungen umgeben. In die Verbindungsöffnungen (11-22) wird eine elektrisch leitende Paste (53) eingebracht. Die gestapelte Anordnung wird gebrannt und in die einzelnen Aktoren zerlegt. Die Elektroden sind als Innenelektroden von der Umgebung isoliert.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

5

10

Verfahren zur Herstellung piezoelektrischer Aktoren und Piezoelektrischer Aktor

Stand der Technik

- 15 Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Aktor, der insbesondere zur Betätigung eines Brennstoffeinspritzventils verwendbar ist, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Piezoelektrische Aktoren, insbesondere zur Betätigung von Brennstoffeinspritzventilen, sind in vielfältigen Bauformen beispielsweise aus der DE 195 00 706 A1 oder der DE 43 06 073 C1 bekannt. Die piezoelektrischen Aktoren bestehen aus mehreren übereinander gestapelten piezoelektrischen Schichten, die jeweils an einer Oberfläche mit einer Elektrode beschichtet sind. Übliche Piezoaktoren bestehen aus mehreren hundert derart übereinander geschichteten piezoelektrischen Schichten. Auf diese Weise wird ein

20 relativ großer Betätigungshub erreicht. Wie z. B. in der DE 37 13 697 A1 näher dargestellt, müssen die Elektroden der einzelnen piezoelektrischen Schichten alternierend mit einer Spannungsquelle verbunden werden, um in den einzelnen Schichten ein in gleicher Richtung ausgerichtetes elektrisches Feld zu erzeugen. Dabei ist jede zweite Elektrode mit einem ersten Pol einer Spannungsquelle verbunden, während die

25 dazwischenliegenden Elektroden mit einem zweiten Pol einer Spannungsquelle verbunden sind. Wie z. B. in der GB 2 193 386 A näher dargestellt, ist es bislang üblich, die sich bis an den Rand der gestapelten piezoelektrischen Schichten erstreckenden Elektroden im Randbereich außenseitig miteinander zu verbinden. Diese Kontaktierungsart ist jedoch bei einer vollautomatischen Fertigung mit großen Stückzahlen aufwendig und störungsanfällig

30 und hat zudem den Nachteil, daß die Elektroden aufgrund ihrer Erstreckung bis in den Randbereich gegenüber der Umgebung nicht isoliert sind, so daß der Mantelbereich der piezoelektrischen Aktoren mit einer zusätzlichen Isolierung versehen werden muß.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil, daß es in einer vollautomatischen Fertigung einsetzbar ist und zu sehr geringen
5 Fertigungskosten führt. Die Elektroden des Aktors werden nicht an der Außenseite sondern dem Inneren durch eine in Verbindungsöffnungen eingebrachte elektrisch leitende Paste kontaktiert. Die erfindungsgemäße Kontaktierung ist daher wenig störanfällig und unanfällig gegen äußere mechanische Beschädigungen. Die piezoelektrischen Aktoren werden in einem hochintegrierten Fertigungsprozeß parallel zueinander hergestellt. Ein
10 mehrere piezoelektrische Aktoren beinhaltender Block wird erst am Ende der Fertigung in die einzelnen Aktoren zerlegt. Die Fertigungsausbeute läßt sich dadurch erheblich erhöhen. Die gleichen Vorteile ergeben sich auch für den erfindungsgemäßen Aktor mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

15 Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Herstellungsverfahrens bzw. des im Anspruch 10 angegebenen piezoelektrischen Aktors möglich.

20 Wenn ein Randbereich der Aktoren von den Elektroden ausgespart ist, hat dies den Vorteil, daß die Elektroden von der Umgebung des Aktors zuverlässig isoliert sind. Es sind daher keine weiteren Maßnahmen zur Isolierung der Elektroden erforderlich. Da zudem die Kontaktierung der Elektroden über Verbindungsöffnungen im Inneren des Aktors erfolgt, ergibt sich eine vollständige Isolierung aller spannungsführenden Bauteile
25 nach außen. Die Störanfälligkeit des Aktors wird deutlich vermindert.

In den Zwischenbereichen zwischen den einzelnen Aktoren können in den die piezoelektrischen Schichten bildenden Folien Perforationslöcher ausgebildet werden. Diese Perforationslöcher dienen einerseits als Entgasungskanäle beim anschließenden Brennen
30 der gestapelten Folien. Andererseits erleichtern die Perforationslöcher das Zertrennen der gestapelten Anordnung in die einzelnen Aktoren. Das Zertrennen kann dabei z. B. dadurch erfolgen, daß die Elektroden benachbarter Aktoren mit einem elektrischen Feld entgegengesetzt der Polarität beaufschlagt werden. Während der eine benachbarte Aktor kontrahiert, expandiert der andere benachbarte Aktor. Die sich dadurch ergebende
35 mechanische Spannung führt zu einem Auseinanderbrechen der Aktoren entlang der durch die Perforationslöcher vorgegebenen Trennlinie. Die Perforationslöcher erleichtern jedoch auch ein Zertrennen der Aktoren durch Sägen entlang der durch die Perforationslöcher

vorgegebenen Perforationslinie. Ein anderes geeignetes Zertrennungsverfahren ist das Wasserstrahlschneiden.

Die metallischen Elektroden können vorteilhaft durch ein Siebdruckverfahren, Aufdampfen oder Sputtern aufgebracht werden, wobei es aus Gründen der Materialeinsparung und besseren Haftvermittlung mit der darüber liegenden piezoelektrischen Keramikschicht vorteilhaft ist, die Elektroden nicht vollflächig sondern mit einer z. B. netzartigen Struktur aufzubringen.

10 Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

15 Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung von drei aufeinander zu stapelnden Folien aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial, die mit Elektroden beschichtet sind und mit Verbindungsöffnungen und Perforationslöchern versehen sind;
20 und

Fig. 2 einen fertigen Aktor in einer geschnittenen, perspektivischen Darstellung.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

25 Fig. 1 zeigt eine perspektivische, schematische Darstellung zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens. Dargestellt sind drei Folien 1, 2 und 3 aus einem noch ungebrannten, piezoelektrischen Keramikwerkstoff, d. h. aus sogenannter grüner Keramik. Ein geeigneter Werkstoff ist z. B. Blei-Barium-Titanat (PbBaTiO_2). Der keramische Werkstoff läßt sich vor dem Brennen z. B. durch Walzen, Gießen oder
30 Schneiden zu dünnen Folien verarbeiten. Die Größenordnung der Foliendicke liegt bei beispielsweise 0,1 mm, ohne daß die Ausführbarkeit der Erfindung auf diese Foliendicke beschränkt wäre. In einem nächsten Verarbeitungsschritt werden die Folien an ihrer Oberseite 4₁, 4₂, 4₃ mit einem elektrisch leitfähigen Material, vorzugsweise mit einer
35 dünnen Metallschicht, beschichtet. Dazu sind alle bekannten chemischen und physikalischen Oberflächenbeschichtungsverfahren, z. B. Aufdampfen, Sputtern oder ein Siebdruckverfahren geeignet. Die Elektroden 5₁ bis 10₁, 5₂ bis 10₂ und 5₃ bis 10₃ können ganzflächig aufgebracht werden. Bei einem Siebdruckverfahren ist jedoch eine netzartige

Struktur der Elektroden zweckmäßig. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist jeweils eine Elektrode 5_1 bis 10_1 , 5_2 bis 10_2 bzw. 5_3 bis 10_3 einer jeden Folie 1, 2 bzw. 3 einem Aktor zugeordnet. Es werden daher mehrere seitlich versetzt zueinander angeordnete Aktoren durch das erfindungsgemäße Verfahren gleichzeitig prozessiert, wodurch die Herstellungskosten deutlich reduziert werden können. Grundsätzlich ist es auch möglich, jedem Aktor nicht nur eine, sondern mehrere Elektroden zuzuordnen, wenn dies für einzelne Anwendungsfälle wünschenswert ist.

In jeder Folien-Schicht 1, 2 bzw. 3 werden in einem der Beschichtung nachfolgenden oder vorhergehenden Arbeitsschritt erste Verbindungsöffnungen 11_1 bis 16_1 in der ersten Folie 1, 11_2 bis 16_2 in der zweiten Folie 2 und 11_3 bis 16_3 in der dritten Folie 3 sowie zweite Verbindungsöffnungen 17_1 bis 22_1 in der ersten Folie 1, 17_2 bis 22_2 in der zweiten Folie 2 und 17_3 bis 22_3 in der dritten Folie 3 z. B. durch Stanzen oder Bohren ausgebildet. Die Verbindungsöffnungen 11 bis 22 dienen der Kontaktierung der einzelnen Elektroden 5 bis 10, worauf noch näher eingegangen wird. Um eine alternierende Verbindung zwischen den Elektroden zu erzielen, sind bei der ersten Folie 1 die zweiten Verbindungsöffnungen 17_1 bis 22_1 jeweils von einer Aussparung 23_1 bis 28_1 umgeben, d. h. die Elektroden-Beschichtung reicht nicht bis zum Rand der zweiten Verbindungsöffnungen 17_1 bis 22_1 , sondern der Rand der Elektroden 5_1 bis 10_1 ist von dem Rand der zweiten Verbindungsöffnungen 17_1 bis 22_1 beabstandet. In ähnlicher Weise sind auch bei den Elektroden 5_3 bis 10_3 der dritten Folie 3 Aussparungen 23_3 bis 28_3 vorgesehen, die die zweiten Verbindungsöffnungen 17_3 bis 22_3 umgeben. In der dazwischen liegenden, zweiten Folienschicht hingegen umgeben die Aussparungen 23_2 bis 28_2 der Elektroden 5_2 bis 10_2 die ersten Verbindungsöffnungen 11_2 bis 16_2 . Gleiches gilt auch für eine nicht mehr dargestellte oberhalb der ersten Folie 1 angeordnete an diese angrenzende, weitere Folie und eine ebenfalls nicht mehr dargestellte unterhalb der dritten Folie 3 angeordnete und an diese angrenzende weitere Folie. Die Aussparungen 23 bis 28 sind daher alternierend von Folien-Schicht zu Folien-Schicht jeweils den ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 oder den zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 zugeordnet.

Ferner sind im dargestellten Ausführungsbeispiel Perforationslöcher 30_1 , 30_2 und 30_3 in jeder Folienschicht 1, 2 bzw. 3 vorgesehen, die z. B. durch Stanzen oder Bohren gleichzeitig mit den ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 und den zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 ausgebildet werden können. Die Perforationslöcher 30 sind im dargestellten Ausführungsbeispiel netzartig ausgebildet und markieren jeweils die Grenzlinie zwischen den einzelnen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gleichzeitig hergestellten Aktoren. Zwischen den Elektroden 5_1 bis 10_1 bzw. 5_2 bis 10_2 bzw. 5_3 bis 10_3

sind in jeder Folie netzartige Zwischenbereiche 31₁ bzw. 31₂ bzw. 31₃ vorgesehen, so daß die Elektroden 5 bis 10 nicht bis zum äußeren Rand der Aktoren reichen, sondern von dem durch die Perforationslöcher 30 markierten Rand beabstandet sind. Die Perforationslöcher 30 sind vorzugsweise in den Zwischenbereichen 31 in Reihen angeordnet, die sich entlang der Ränder der einzelnen Aktoren erstrecken. Im dargestellten Ausführungsbeispiel werden Aktoren mit rechteckigen Querschnitt hergestellt. Zur Herstellung von Aktoren mit anderen Querschnittsflächen sind die Perforationslöcher entsprechend variiert anzuordnen.

In einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt werden eine Vielzahl von Folien, von welchen in Fig. 1 nur ausschnittsweise die Folien 1 bis 3 dargestellt sind, übereinander gestapelt. Zur Erzielung eines ausreichenden Aktorhubs werden vorzugsweise mehrere hundert der in Fig. 1 dargestellten, wie vorgeschrieben behandelten Folien aufeinander geschichtet. Die einzelnen Folien-Schichten werden dabei so zueinander ausgerichtet, daß sowohl die Perforationslöcher 30 als auch die ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 und die zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 exakt übereinander positioniert sind. Dies kann z. B. vollautomatisch mit einem mechanisch oder optisch abtastbaren Referenz-Markierungssystem erfolgen. Das Stapeln bzw. Schichten der einzelnen Folien 1 bis 3 ist in Fig. 1 durch die Pfeile 40 bis 43 veranschaulicht. Wie bereits erläutert, wird die Schichtenfolge der Folien 1 bis 3 so gewählt, daß die übereinander angeordneten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 bzw. 17 bis 22 alternierend nur in jeder zweiten Folien-Schicht 1 bis 3 von einer Aussparung 23 bis 28 der Elektroden 5 bis 10 umgeben sind, so daß die Elektroden 5 bis 10 abwechselnd mit den ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 oder den zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 in Verbindung stehen.

In einem weiteren Bearbeitungsschritt werden die ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 und die zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 mit einer geeigneten, elektrisch leitenden Paste, z. B. einer Metallisierungspaste, gefüllt. Das Füllen der Verbindungsöffnungen 11 bis 16 bzw. 17 bis 22 kann z. B. durch Einsaugen mittels Unterdruck oder durch Einpressen erfolgen. Bevorzugt erfolgt das Einbringen der elektrisch leitenden Paste in dem bereits gestapelten Zustand der Folien. Denkbar ist es jedoch auch, daß jede einzelne Folie vor dem Stapeln mit der elektrisch leitenden Paste gefüllt wird. Die Verbindungsöffnungen 11 bis 16 bzw. 17 bis 22 können auch als sogenannte Via-Löcher bezeichnet werden, so daß dem Kontaktierungsverfahren die Bezeichnung Via-Fill-Prozeß zukommt.

In einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt wird die durch das Stapeln der Folien 1 bis 3 entstehende gestapelte Anordnung unter einem geeigneten Druck bei erhöhter Temperatur getrocknet und anschließend bei einer geeigneten Temperatur gebrannt. Die Brenn-

Temperatur ist vorzugsweise größer als 1000° C und liegt bevorzugt im Bereich zwischen 1000° C und 1500° C.

- Anschließend wird die gebrannte, gestapelte Anordnung in die Einzelaktoren zerlegt. Bei einer Foliengröße von beispielsweise 15 x 20 cm lassen sich bis zu 200 Einzel-Aktoren aus der gestapelten Anordnung gewinnen. Das Zertrennen in die Einzel-Aktoren erfolgt z. B. durch Sägen oder durch Wasserstrahlschneiden. Die Perforationslöcher 30 erleichtern dabei den Trennvorgang und markieren die Trennstelle.
- Entsprechend einer bevorzugten Vorgehensweise erfolgt das Trennen der gestapelten Anordnung in die Einzel-Aktoren dadurch, daß benachbarte Aktoren mit einer elektrischen Spannung unterschiedlicher Polarität beaufschlagt werden. Durch das sich in den einzelnen Schichten des Aktors ausbildende elektrische Feld, welches zwischen benachbarten Aktoren in unterschiedlicher Richtung ausgerichtet ist, ergibt sich je nach Feldrichtung entweder eine Kontraktion oder Expansion der benachbarten Aktoren. Zwischen den benachbarten Aktoren tritt deshalb eine mechanische Verspannung auf, die bei geeigneter Dimensionierung der elektrischen Feldstärke und des Abstands zwischen den einzelnen Perforationslöchern 30 zu einem Zertrennen der Aktoren entlang der durch die Perforationslöcher 30 vorgegebenen Trennlinie führt. Diese Vorgehensweise ist besonders kostensparend, da es keiner besonderen Trennvorrichtung bedarf.

Zur besseren Veranschaulichung der Erfindung ist in Fig. 2 ein Einzel-Aktor geschnitten dargestellt. Erkennbar sind die gestapelt übereinander angeordneten Schichten 50₁ bis 50₁₅ aus piezoelektrischem Keramikwerkstoff. Erkennbar sind ferner die Elektroden 5₁ bis 5₁₅ der einzelnen Schichten 50₁ bis 50₁₅. Wie in Fig. 2 nochmals verdeutlicht, sind die Aussparungen 23₁ bis 23₁₅ der Elektroden 5₁ bis 5₁₅ alternierend so angeordnet, daß sie abwechselnd die erste Verbindungsöffnung 11 und die zweite Verbindungsöffnung 17 umgeben. Durch die in die Verbindungsöffnungen 11 und 17 eingefüllte, elektrisch leitfähige Paste 53 werden die Elektroden 5₁, 5₃, ... 5₁₅ jeweils jeder zweiten Schicht mit einem z. B. durch Löten, Bonden, Schweißen oder dergleichen mit dem Aktor verbundenen, ersten Anschlußdraht 51 verbunden. Die dazwischenliegenden Elektroden 5₂, 5₄, ... 5₁₄ werden über die in die zweiten Verbindungsöffnungen 17 eingeführte elektrisch leitfähige Paste 53 mit einem zweiten Anschlußdraht 52 verbunden. Das sich in dem Aktor bei Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen den Anschlußdrähten 51 und 52 ausbildende elektrische Feld ist daher in sämtlichen piezoelektrischen Schichten 50₁ bis 50₁₅ in gleicher Richtung ausgerichtet, so daß sich die Kontraktion bzw. Expansion jeder einzelnen piezoelektrischen Schicht 15₁ bis 15₁₅ konstruktiv zu einem Gesamthub des piezoelektrischen Aktors addiert.

Aus Fig. 2 sind ferner die ausgebrochenen Perforationslöcher 30 im Randbereich des Aktors zu erkennen. Dadurch, daß die Elektroden 5_1 bis 5_{15} sich nicht bis zum Randbereich des Aktors erstrecken, sondern durch einen Abstand a von dem Rand beabstandet sind, ergibt sich eine hermetische Isolation der Elektroden 5_2 bis 5_{15} . Lediglich für die oberste Elektrode 5_1 ist eine zusätzliche Isolationsmaßnahme vorzusehen. Vorzugsweise wird der Aktor an seiner Oberseite durch eine geeignete elektrisch isolierende Vergußmasse abgedeckt. Diese Vergußmasse kann bereits vor dem Zertrennen der gestapelten Anordnung in die Einzel-Aktoren flächig aufgebracht werden. Ferner ist es denkbar, an der Oberseite als abschließende Schicht eine elektrisch isolierende Abdeck-Folie aufzubringen.

Die Perforationslöcher 30 erleichtern nicht nur das Zertrennen der gestapelten Anordnung in Einzel-Aktoren, sondern unterstützen insbesondere auch als Entgasungskanäle die Gasentweichung beim Trocknen und Brennen der gestapelten Anordnung. Durch das erfindungsgemäße Verfahren lassen sich piezoelektrische Aktoren herstellen, die mit einer Arbeitsspannung von weniger als 150 V auskommen und eine Kraft von mehr als 1000 N bei einem Betätigungshub von 50 μm erzeugen. Durch Wasserschneiden läßt sich die gestapelte Anordnung in Einzelaktoren mit nahezu beliebiger Querschnittsfläche zerlegen. So sind z. B. runde, dreieckige oder sternförmige Aktoren herstellbar.

25

30

35

5

10

Ansprüche

1. Verfahren zur parallelen Herstellung mehrerer piezoelektrischer Aktoren mit folgenden Verfahrensschritten:

- 15 - Herstellen von dünnen Folien (1-3) aus einem ungebrannten, piezoelektrischen Keramikwerkstoff,
 - Ausbilden von die Folien (1-3) durchdringenden ersten und zweiten Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22), wobei jedem Aktor jeweils eine erste (11-16) und eine zweite (17-22) Verbindungsöffnung zugeordnet ist,
- 20 - Beschichten jeweils einer Oberfläche (4) der Folien (1-3) mit mehreren Elektroden (5-10), wobei jedem Aktor in jeder Folie (1-3) zumindest eine Elektrode (5-10) zugeordnet ist und
 - wobei die Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22) die Folien (1-3) im Bereich der Elektroden (5-10) durchdringen und die Elektroden (5-10) jeweils eine Aussparung (23-28)
 - 25 aufweisen, die entweder die erste (11-16) oder zweite (17-22) Verbindungsöffnung umgibt,
 - Stapeln einer Vielzahl von Folien (1-3) übereinander, so daß die ersten und zweiten Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22) in einer dadurch entstehenden gestapelten Anordnung übereinander angeordnet sind,
- 30 wobei die Schichtenfolge der Folien (1-3) so gewählt ist, daß die übereinander angeordneten Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22) alternierend nur in jeder zweiten Folien-Schicht (1-3) von einer Aussparung (23-28) der Elektroden (5-10) umgeben sind, so daß die Elektroden (5-10) abwechselnd entweder mit den ersten Verbindungsöffnungen (11-16) oder den zweiten Verbindungsöffnungen (17-22) in Verbindung stehen,
- 35 - Einbringen einer elektrisch leitenden Paste (53) in die Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22),
 - Brennen der gestapelten Anordnung, und
 - Zertrennen der gestapelten Anordnung in einzelne Aktoren.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,

5 daß auf den Oberflächen (4) der Folien (1-3) im Randbereich zwischen den einzelnen
Aktoren Zwischenbereiche (31) vorgesehen sind, die von den Elektroden (5-10) ausgespart
sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,

10 daß in der Zwischenbereichen (31) Perforationslöcher (30) ausgebildet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,

15 daß die Perforationslöcher (30) in sich in den Zwischenbereichen (31) entlang der Ränder
der einzelnen Aktoren erstreckenden Reihen angeordnet sind.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,

20 daß zum Zertrennen der gestapelten Anordnung in die einzelnen Aktoren zwischen den
Elektroden (5-10) benachbarter Aktoren ein elektrisches Feld entgegengesetzter Polarität
angelegt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,

25 daß das Zertrennen der gestapelten Anordnung in die einzelne Aktoren mittels Sägen oder
Wasserstrahlschneiden erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,

30 daß die gestapelte Anordnung vor dem Brennen unter Druck bei einer erhöhten
Temperatur getrocknet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,

35 daß die Elektroden (5-10) durch ein Siebdruckverfahren, Aufdampfen, Sputtern oder
dergleichen aufgebracht werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß die gestapelte Anordnung beim Brennen unter uniaxialem Druck bei einer Temperatur von mindestens 1000° C gesintert wird.

5

10. Piezoelektrischer Aktor, der eine Vielzahl von übereinander angeordneten Schichten (50) aus einem piezoelektrischen Keramikwerkstoff aufweist, die jeweils auf einer Oberfläche (4) mit zumindest einer Elektrode (5) beschichtet sind, wobei die Elektroden (5) alternierend miteinander verbunden sind,

10 **dadurch gekennzeichnet,**

daß in jeder Schicht (50) eine erste und zweite die Schicht (50) im Bereich der Elektrode (5) durchdringende Verbindungsöffnung (11, 17) vorgesehen sind,

daß jede Elektrode (5) eine Aussparung (23) aufweist, die entweder die erste (11) oder zweite (17) Verbindungsöffnung umgibt,

15 daß die Schichten (50) so gestapelt sind, daß die ersten und zweiten Verbindungsöffnungen (11, 17) sämtlicher Schichten (50) übereinander angeordnet sind und die übereinander angeordneten Verbindungsöffnungen (11, 17) alternierend nur in jeder zweiten Schicht von einer Aussparung (23) der Elektroden (5) umgeben sind, so daß die Elektroden (5) abwechselnd mit den ersten Verbindungsöffnungen (11) und den zweiten
20 Verbindungsöffnungen (17) in Verbindung stehen, und
daß die Verbindungsöffnungen (11, 17) mit einer elektrisch leitenden Paste (53) gefüllt sind.

11. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 10,

25 **dadurch gekennzeichnet,**

daß die Elektroden (5) aus einer netzartigen Metallschicht bestehen.

12. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 10 oder 11,

dadurch gekennzeichnet,

30 daß die Schichten (50) einen umlaufenden Randbereich (31) aufweisen, der nicht mit der Elektrode (5) beschichtet ist.

13. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 10 bis 12,

dadurch gekennzeichnet,

35 daß die äußere Oberfläche der obersten und/oder untersten Schicht und/oder der Randbereich des Aktors in eine elektrisch isolierende Vergußmasse eingebettet ist.

1/2

Fig. 1

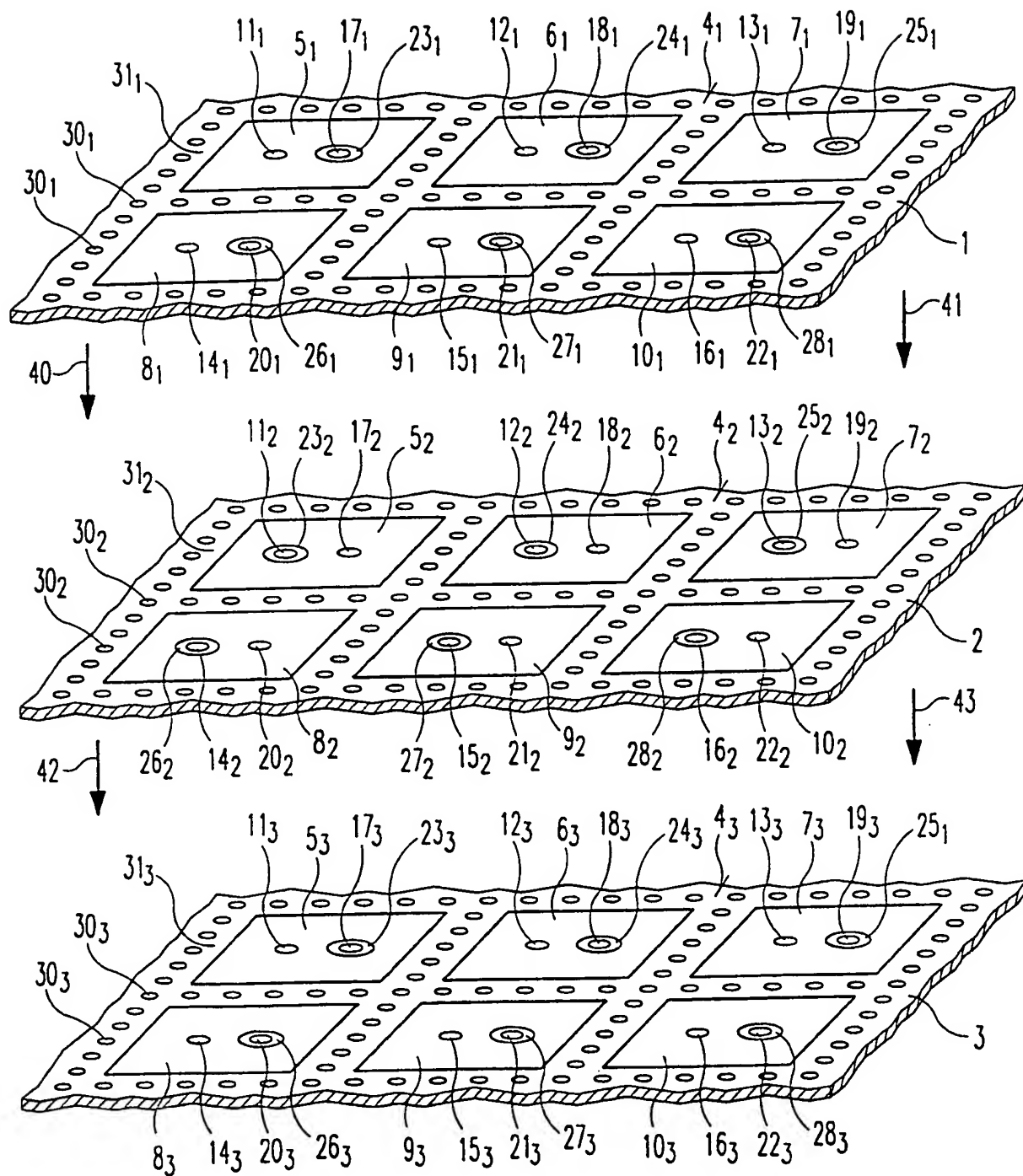
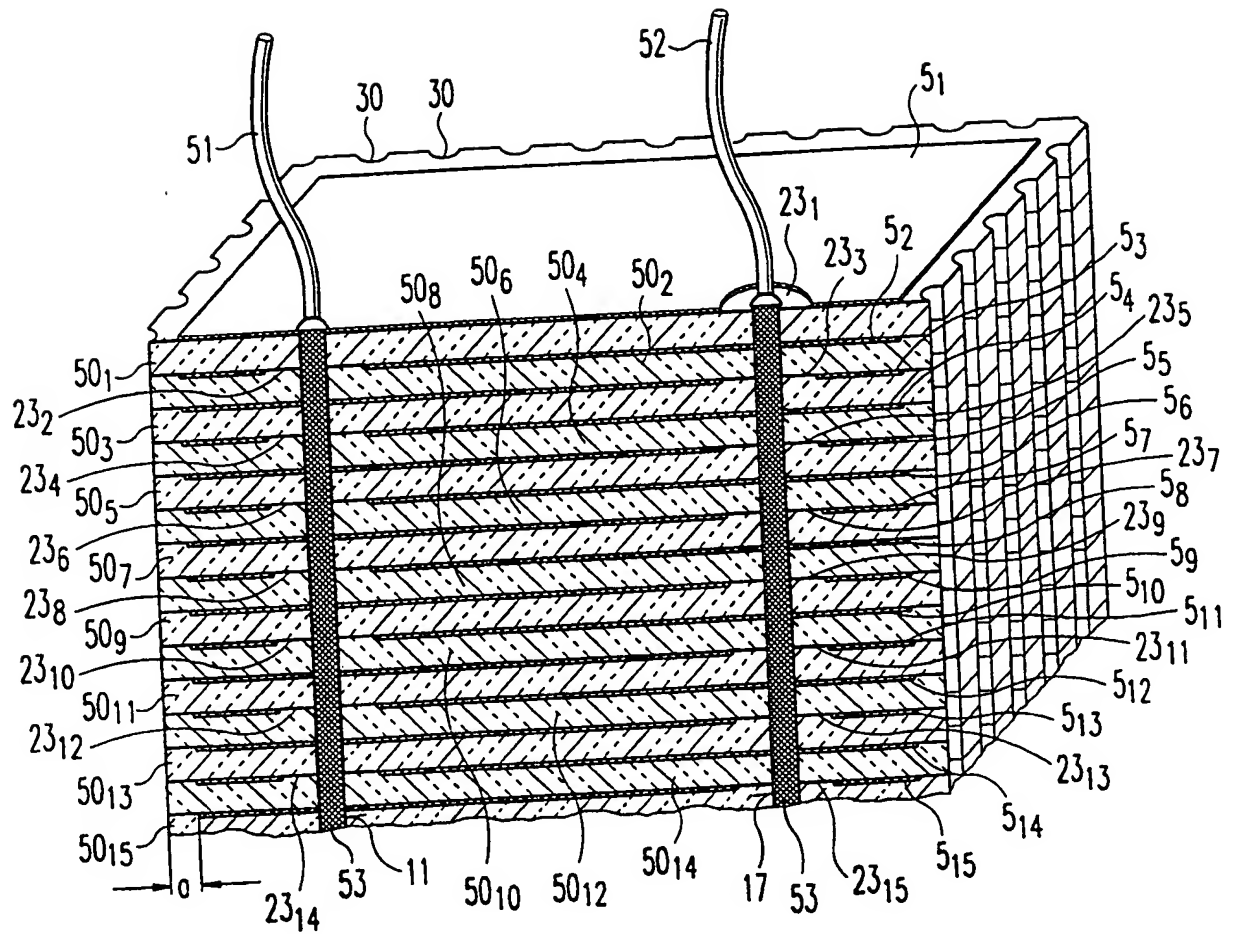


Fig. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 98/03174

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01L41/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 523 121 A (TAKAHASHI SADAYUKI ET AL) 11 June 1985 see abstract; figures 14,15 see column 2, line 36 - column 3, line 4 see column 8, line 31 - column 9, line 52	10,11
Y	----	1,6-8
Y	WO 97 01868 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ;PHILIPS NORDEN AB (SE)) 16 January 1997 see abstract; figures 1,2 see claims 1,6	1,6-8
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 054 (E-583), 18 February 1988 -& JP 62 199075 A (FUJI ELELCTROCHEM CO LTD), 2 September 1987 see abstract -----	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 February 1999

Date of mailing of the international search report

03/03/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visscher, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 98/03174

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4523121 A	11-06-1985	JP 1472361 C	27-12-1988
		JP 58196068 A	15-11-1983
		JP 63017354 B	13-04-1988
		JP 1857861 C	27-07-1994
		JP 58196069 A	15-11-1983
		JP 63034636 B	11-07-1988
		JP 58196070 A	15-11-1983
		JP 58196071 A	15-11-1983
		JP 58196072 A	15-11-1983
		JP 58196073 A	15-11-1983
		JP 58196074 A	15-11-1983
		JP 1871855 C	06-09-1994
		JP 4051992 B	20-08-1992
		JP 58196075 A	15-11-1983
		JP 1944761 C	23-06-1995
		JP 6071102 B	07-09-1994
		JP 58196076 A	15-11-1983
		JP 1882024 C	10-11-1994
		JP 6005794 B	19-01-1994
		JP 58196077 A	15-11-1983
		JP 58196078 A	15-11-1983
		JP 1728730 C	29-01-1993
		JP 4009390 B	20-02-1992
		JP 58196079 A	15-11-1983
		AU 553391 B	10-07-1986
		AU 1442283 A	17-11-1983
		CA 1206193 A	17-06-1986
		DE 3378393 A	08-12-1988
		EP 0094078 A	16-11-1983
		BR 8302536 A	17-01-1984
WO 9701868 A	16-01-1997	EP 0777913 A	11-06-1997
		JP 10505463 T	26-05-1998
		US 5758398 A	02-06-1998

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H01L41/24

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 523 121 A (TAKAHASHI SADAYUKI ET AL) 11. Juni 1985 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 14,15 siehe Spalte 2, Zeile 36 - Spalte 3, Zeile 4 siehe Spalte 8, Zeile 31 - Spalte 9, Zeile 52	10,11
Y	---	1,6-8
Y	WO 97 01868 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ;PHILIPS NORDEN AB (SE)) 16. Januar 1997 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 siehe Ansprüche 1,6 ---	1,6-8
	--- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

*E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

*** Veröfentlichung von besonderer Bedeutung:** die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröfentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröfentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. Februar 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/03/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Visscher, E

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 054 (E-583), 18. Februar 1988 -& JP 62 199075 A (FUJI ELELCTROCHEM CO LTD), 2. September 1987 siehe Zusammenfassung -----	1-4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.